

TEKTONIK DAN JALUR VULKANIK BUSUR BELAKANG BAWEANMURIA SEBAGAI PENGONTROL PEMBENTUKAN CEKUNGAN PATI DAN POTENSI HIDROKARBON

EDIAR USMAN

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
email korespondensi: ediarusman@yahoo.com

Abstract

The Muria – Bawean back-arc volcanic belt trending Southwest – Northeast, is part of the Plistosen-Holosen volcanic belt. Both are situated on the southeast border of the granite chalk belt of L. Jawa, and increasingly far from the recent subduction. From interpretation of seismic data of Pre-Tertiary rocks and Palaeogene and Neogene sediment, a tectonic direction was obtained, of the same direction as the Muria – Bawean back arc volcanic belt, namely Southwest – Northeast, or what is known as Pola Meratus. The development of the Palaeogene and Neogene tectonic in line with the aforementioned Plistosen-Holosen volcanic belt, points to the research area as an unstable tectonic and volcanically active from Palaeogene to Holosen. Other evidence of the Muria – Bawean back arc volcanic belt is the chemical composition of the five volcanic rock samples in area G. Muria shows genesis of Calc-Alkaline-Shoshonite magma. Total alkaline content is roughly between 3,08 - 13,92% including in the Andesit – Dasit group, and SiO₂ is between 59 – 69,82% characterised medium-acidic. Results of microscopic analysis of the five rock samples show plagioclase mineral content, K-feldspar, hornblende, firoksen and glass dominant in all samples. Fomation of the aforementioned Palaeogene-Neogene (Pola Meratus) tectonic and Muria – Bawean back arc volcanic belt split the East Java North basin in two, namely Pati Basin in the West and East Java North Basin in te East. The aforementioned tectonic and volcanic influence caused sub-basin orientation at Pati Basin and the East Java North Basin heading Southwest – Northeast. This condition has led to a new understanding of basin formatin and sub-basin orientation. Basic formation of a basin and sub-basin is not only based on the process of Palaeogene geology, but influenced by Neogene volcanism and tectonics. Similarities in the tectonic, volcanic and historical process of the formation of Pati Basin and the East Java North Basin show that the two basins have a petroleum system and the same prospectively high hydrocarbon content, so that if a more detailed exploration of Pati Basin is undertaken, it is predicted that hydrocarbon will be obtainable, as at the East Java North Basin, which is currently in production.

Keywords: back arc volcanism, Muria-Bawean, Pati Basin, hydrocarbon

Pendahuluan

Lokasi penelitian tertelat di utara P. Jawa, termasuk dalam perairan Laut Jawa bagian selatan. Di daerah ini terdapat beberapa produk tektonik dan vulkanik, yaitu Cekungan Pati, Busur Bawean, Lembah Muriah dan Cekungan Utara Jawa Timur. Secara geologi, produk tektonik dan vulkanik tersebut membentuk satu jalur yang searah dengan Pola Meratus (SW-NE) yang kemudian disebut sebagai Jalur Vulkanik Busur Belakang Muria - Bawean (*Back Arc Volcanism*).

Jalur ini merupakan salah satu produk tektonik-vulkanik yang terbentuk di daerah Cekungan Busur Belakang (*Back Arc Basin*). Jalur Vulkanik Busur Belakang merupakan jalur tektonik-vulkanik yang langka di dunia karena terbentuk di daerah cekungan yang relatif dalam dan tertutup oleh lapisan sedimen yang tebal. Kondisi sedimen yang tebal dan berada di tengah-tengah pusat cekungan, maka kondisi ini lebih memungkinkan membentuk daerah cekungan migas.

Jalur Vulkanik Busur Belakang Muria – Bawean membentuk jalur lurus yang berarah barat daya – timur laut. Jalur ini searah dengan jalur tektonik Peleogen – Neogen membentuk Pola Meratus SW – NE (Pulunggono dan Martodjojo, 1994); memanjang dari arah utara Muria hingga selatan Pegunungan Meratus di Kalimantan Selatan.

Hasil pengukuran seismik dan magnetik dengan lintasan berarah barat laut – tenggara yang memotong jalur Vulkanik Busur Belakang diperoleh bentuk tinggian yang lebar dan mengecil ke arah permukaan menggambar suatu geometri Busur Bawean (Bawean Arch). Gambaran utuh dari jalur Vulkanik Busur Belakang Muria – Bawean adalah G. Muria dan P.

Bawean dengan arah yang sama dengan Pola Meratus (SW – NE). Kedua gunung api tersebut merupakan gunung api aktif; dan di P. Bawean bentuk keakhtifannya dicirikan oleh adanya kaldera dan kepundan terisi air membentuk danau/telaga. Di P. Bawean juga terdapat mata air panas dengan bau belerang menggambarkan adanya akhtifitas vulkanik yang berlangsung hingga saat ini.

Beberapa penulis terdahulu berhasil mengungkap-kan fenomena keterdapatan lava di daerah busur belakang yang tergolong muda (Holosen). Namun belum tergambar dengan jelas hubungan tektonik Pra-Paleogen, Paleogen dan Neogen yang menyebabkan kedua daerah vulkanik tersebut menghasilkan suatu lava vulkanik. Lava ini menggambarkan suatu peristiwa magmatisme yang berasal dari pusat bumi yang keluar melalui celah (rekahan atau sesar) yang terbentuk mulai batuan dasar sampai ke batuan yang paling muda pada periode akhir Neogen.

Beberapa gunung api Neogen di Jawa masih aktif, sebagian tidak aktif dan mengalami erosi lanjut membentuk busur vulkanik (*volcanic arc*) dengan komposisi batuan beku dalam (*subvolcanic rock*) adalah andesit porfiri dan mikrodiorit (Hartono dan Syafr, 2007). Menurut Soeria-Atmadja et al. (1994), kegiatan vulkanisme di Jawa ditunjukkan oleh keterdapatan lava dan klastika, serta dua busur magma, yaitu busur magma berumur Eosen-Miosen Awal dan busur magma berumur Miosen Akhir – Pliosen. Penyebaran batuan produk vulkanik dalam bentuk lava dan klastika tersebut terjadi di sepanjang jalur gunung api Jawa

(volcanic arc) dari barat ke timur hingga ke kawasan Nusa Tenggara. Selanjutnya, hasil umur mutlak radioaktif K/Ar batuan gunung api di Jawa tersebut dikelompokkan ke dalam Formasi Andesit Tua berumur antara $59,00 \pm 1,94$ juta tahun hingga $11,88 \pm 0,71$ juta tahun (Soeria-Atmadja et al., 1994). Kondisi ini menunjukkan bahwa, sejak Tersier, di Jawa telah terjadi peristiwa vulkanisme yang berulang-ulang. Hal ini juga tampak pada gunung api muda yang masih aktif hingga saat ini dengan bentuk radial, memiliki kawah dan sesekali masih memuntahkan lava, kemungkinan sebelumnya juga telah mengalami proses vulkanisme yang berulang-ulang.

Geologi Regional

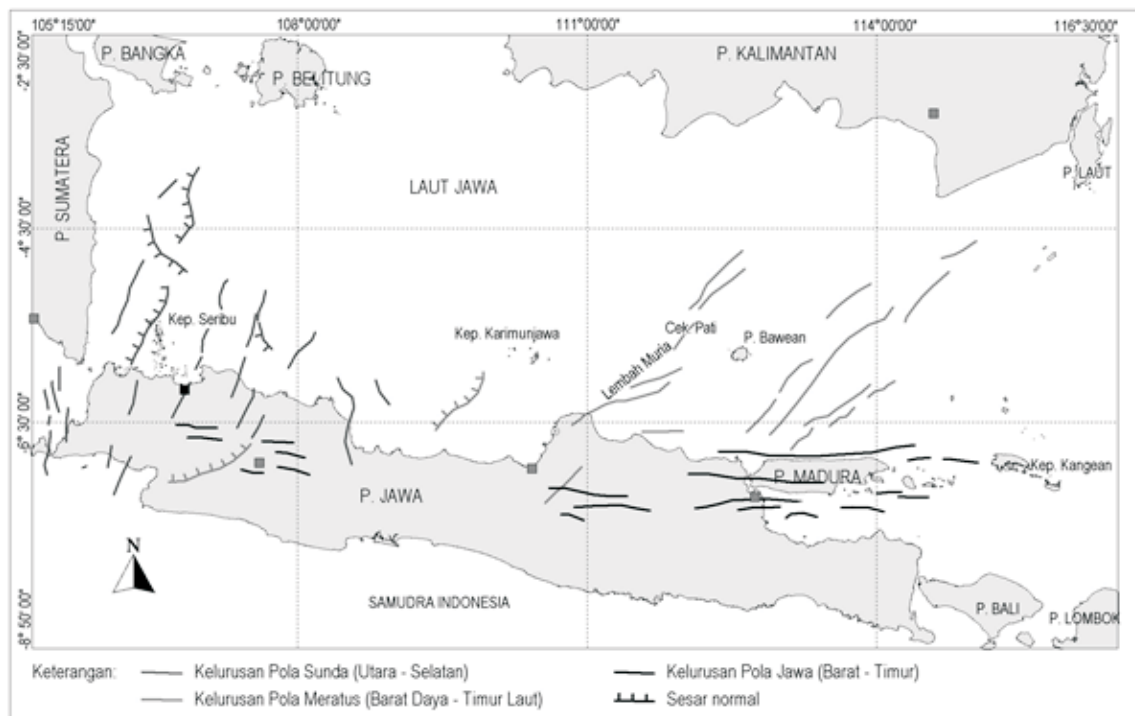
Evolusi Struktural di Laut Jawa

Pembentukan struktur dan konfigurasi cekungan Tersier di Laut Jawa dikontrol oleh kerangka morfotektonik regional berdasarkan perkembangan dan evolusi dari waktu ke waktu. Evolusi tektonik tersebut menghasilkan tiga arah utama tektonik Paleogen (Hamilton, 1974; Pulunggono dan Martodjojo, 1994) (Gambar 1).

cekungan di Laut Jawa, yaitu: Pola Sunda berarah utara – selatan (N-S), Pola Jawa berarah barat – timur (W-E) dan Pola Meratus berarah barat daya – timur laut (SW – NE) (Pulunggono dan Martodjojo, 1994; Martodjojo, 2003).

Periode *Extensional Rifting Paleogene* merupakan periode tektonik regangan (tarikan) dan merupakan periode pembentukan cekungan-cekungan dengan tipe graben dan setengah graben (*half graben*). Periode ini kemudian dikenal sebagai masa terbentuknya dasar cekungan Pra-Tersier di Laut Jawa yang kemudian potensial mengandung hidrokarbon. Periode *Compression Wrenching Neogene* merupakan periode yang membentuk wrench fault akibat gaya kompresi, sehingga pada periode ini terbentuk sesar-sesar turun, sesar mengiri dan struktur antiklin. Periode ini terjadi beberapa “sobekan” (SW – NE) pada batuan dasar sehingga pada Plistosen mendorong magma keluar membentuk P. Bawean (Sidarto dkk., 1999; Hutubessy, 2003).

Selanjutnya pada periode *Compressional Thrust-Folding Plio-Pleistocene* merupakan periode tektonik yang membentuk lipatan serta sesar-sesar naik yang



Gambar 1. Tektonik Paleogen dari Hamilton (1979) membentuk tiga arah utama, yaitu: Pola Sunda arah utara – selatan, Pola Meratus arah barat daya – timur laut dan Pola Jawa arah barat – timur (Pulunggono dan Martodjojo, 1994; Martodjojo, 2003).

Pembentukan tektonik Paleogen tersebut dipengaruhi oleh tiga perioda tektonik, yaitu: pemekaran dan pemisahan pada Paleogen hingga Miosen Awal (*Extensional Rifting Paleogene*) (Hall, 1996); tekanan dan perputaran pada Miosen Tengah hingga Miosen Akhir (*compressional wrenching Neogene*); dan pembentukan sesar naik dan perlipatan pada Plio-Plistosen (*compressional thrust-folding Plio-Pleistocene*) (Suprijadi, 1992). Proses tersebut kemudian menghasilkan tiga arah struktur dan pola

berarah barat – timur dan barat daya – timur laut, sementara pembentukan *wrench fault* yang sudah dimulai sejak Neogen berlanjut sampai Plistosen (Suprijadi, 1992).

Produk Tektonik dan Vulkanik di Laut Jawa

Batuan Paleogen di Laut Jawa umumnya adalah sedimen klastika (Djuhaeni dan Nugroho, 2002) mulai terbentuk sejak Eosen Atas, sedangkan batuan dasar (*basement rock*) di bagian bawah merupakan batuan

Paleosen dan Pra-Paleosen. Batuan Paleosen pada beberapa literatur terdiri atas batuan metamorf (Darman and Sidi, 2000) dan *Cretaceous Granitoid* (Hamilton, 1974 dan 1979). Pada beberapa penampang pemboran, batuan dasar di Laut Jawa bagian barat adalah granitoid dan di bagian timur (sekitar daerah penelitian) merupakan batuan meta-sedimen dan meta-vulkanik (Katili, 1980; Hamilton, 1979, Darman and Sidi, 2000).

Produk tektonik Paleogen dan Neogen di P. Jawa dan Laut Jawa dapat dibagi menjadi beberapa mandala tektonik dalam bentuk proses dan produk yang sama berupa cekungan dan tinggian (Martodjojo, 2003). Produk tinggian sebagai pembatas cekungan, beberapa di antaranya membentuk jalur vulkanisme Neogen, seperti Busur Bawean (Bawean Arch) dan G. Muria (Van Bemmelen, 1949; Katili, 1989). Produk dalam bentuk cekungan adalah Lembah Muria (*Muria Trough*) yang kemudian dikenal sebagai Cekungan Pati (Van Bemmelen, 1949; Sujanto dkk., 1993; Darman and Sidi, 2000; Satyana, 2007).

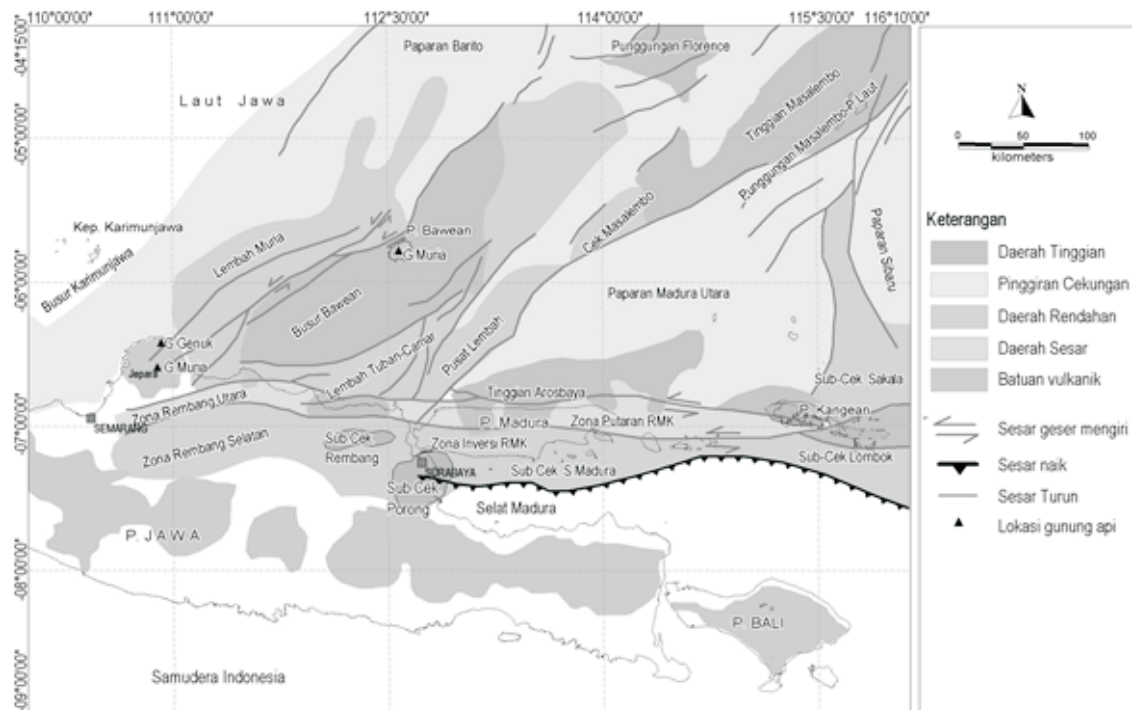
Perkembangan dan evolusi tektonik di Jawa dan Laut Jawa tersebut, menghasilkan tiga arah struktur utama, yaitu: Pola Sunda berarah utara – selatan (N-S), Pola Jawa berarah barat – timur (W-E) dan Pola Meratus berarah barat daya – timur laut (SW – NE) (Pulunggono

dan Martodjojo, 1994; Martodjojo, 2003).

Proses vulkanik P. Bawean menyebabkan terjadinya perubahan konfigurasi Cekungan Jawa Timur membentuk dua cekungan yang terpisah, yaitu Cekungan Pati di bagian barat dan Cekungan Utara Jawa Timur di bagian timur (Van Bemmelen, 1949; Sujanto dkk., 1993; Satyana, 2007 dan Usman, 2008). Peristiwa ini merupakan peristiwa vulkanik Plistosen aktif pada zona tektonik yang stabil yang disebabkan terus berlanjutnya oleh Tektonik Paleogen – Neogen di sekitar P. Bawean. Peristiwa vulkanik Bawean ini “merobek” dan menembus batuan yang lebih tua berumur Pra-Paleosen sebagai batuan dasar di Laut Jawa (*basement rock*) (Sidarto dkk., 1999; Hutubessy, 2003).

Keberadaan P. Bawean yang merubah konfigurasi Cekungan Jawa Timur, kegiatan tektonik Neogen dan peristiwa vulkanik Plistosen (Aziz dkk., 1993) merupakan salah satu fenomena dalam menentukan keberadaan Cekungan Pati. Oleh sebab itu, untuk mengetahui perkembangan dan pembentukan Cekungan Pati, perlu mempelajari perkembangan dan produk tektonik dan vulkanik (Hamilton, 1974; Reminton, 1996; Darman and Sidi, 2000; Anonim, 2006) di P. Bawean dan sekitarnya (Gambar 2).

Gambar 2. Produk tektonik dan vulkanik regional pada jalur vulkanik busur belakang di Laut Jawa (Hamilton, 1974; Reminton, 1996; Darman and Sidi, 2000; Anonim, 2006).



Fenomena lainnya adalah posisi tektonik P. Bawean yang terletak pada zona kedalaman jalur gempa (*Benioff Zone*) antara 600 – 700 km dan pembentukannya di daerah cekungan busur belakang (*back arc basin*) (Hamilton, 1974; Bellon et al., 1989) serta hubungannya dengan kegiatan vulkanik P. Bawean. Berdasarkan posisi yang demikian, maka P. Bawean kemudian disebut sebagai daerah vulkanisme busur belakang (*back arc volcanism*) (Bellon et al., 1989).

Berdasarkan data seismik dan gaya berat, kelurusan Paleogen di P. Bawean berada pada jalur yang sama dengan kelurusan Paleogen di G. Muria (Lubis and Rachmat, 1996; Hutubessy, 2003). Selanjutnya, berdasarkan data magnet, yaitu kelurusan barat daya – timur laut (Lubis and Rachmat, 1996; Usman dan Lugra, 2008; Usman dan Yuningsih, 2009). Hubungan tersebut perlu dibuktikan lebih lanjut berdasarkan beberapa pendekatan struktural (struktur Neogen) dan geokimia batuan pada kedua vulkanik daerah tersebut, sehingga dapat membantu dalam mengungkapkan keterkaitan tektonik Paleogen dan Neogen serta implikasinya terhadap berbagai produk tektonik dan vulkanik.

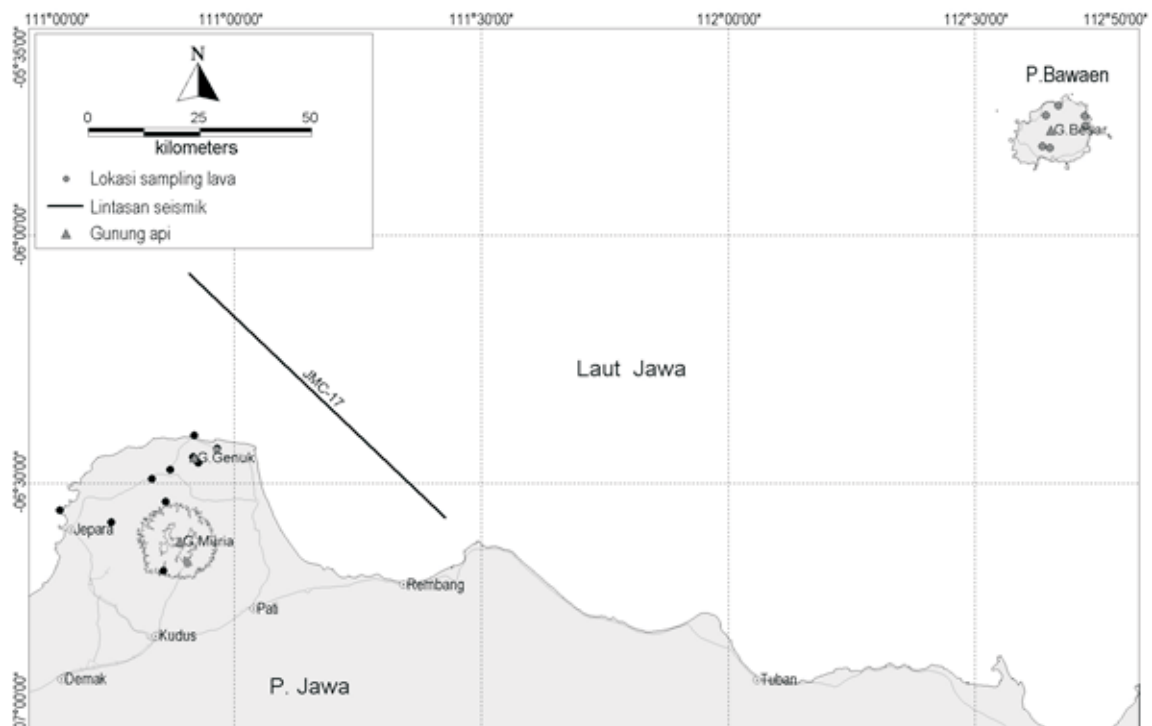
Pemahaman struktural, evolusi dan produk tektonik suatu daerah merupakan dasar utama dalam penetapan dan deliniasi batas-batas cekungan. Berbagai publikasi/peta cekungan migas yang selama ini dipublikasikan tidak disertai data sejarah struktural dan stratigrafi yang lengkap. Di samping itu, beberapa data stratigrafi yang dipublikasikan tidak disertai data batuan dasar yang lengkap (petrogenesa dan umur mutlak) yang mendasari beberapa gunung api yang

sejalur SW-NE, sehingga menyulitkan dalam merekonstruksi sejarah, stratigrafi cekungan, batas dan analisis potensi hidrokarbon. Batuan dasar umumnya disebutkan sebagai batuan beku dan atau metamorf berumur Pra-Tersier. Umur Pra-Tersier tersebut memiliki durasi yang panjang dan tidak terdapat batas kapan dimulai dan kapan berakhir. Oleh sebab itu, perlunya mengetahui perkembangan tektonik dari berbagai sumber, mulai batuan dasar hingga batuan sedimen di atasnya, sehingga akan dapat memberikan pemahaman baru perkembangan struktural yang bersifat ilmiah dalam konteks sejarah geologi secara sistematis. Dengan demikian, pemahaman tektonik, vulkanik dan stratigrafi suatu daerah akan dapat membantu dalam pemahaman genesa suatu cekungan.

Metode

Metoda penelitian ini menggunakan dua tahapan, yaitu tahapan pertama kegiatan pengumpulan data sekunder dari berbagai publikasi. Data sekunder merupakan data hasil penelitian terdahulu, baik dalam bentuk laporan intern maupun dalam bentuk publikasi ilmiah. Tahapan kedua adalah survei lapangan menggunakan peralatan seismic multichannel dan pengambilan data batuan di sekitar G. Muria. Data seismik menggunakan Kapal Geomarin I, diperlukan untuk mengetahui geometri Jalur Vulkanik Busur Belakang Muria – Bawean dan kegiatan vulkanik lainnya di laut (Gambar 3).

Gambar 3. Lokasi penelitian di daerah jalur Muria – Bawean.



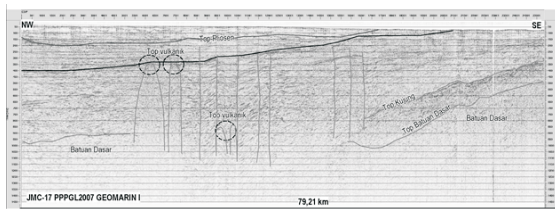
Metoda kimia unsur utama dilakukan untuk mengetahui komposisi utama lava G. Muria yang terdiri dari oksida SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , dan LOI. Pemilihan lava untuk analisis kimia berdasarkan pada kenampakan fisik dan ciri-ciri batuan yang bersifat masif, berwarna hitam dengan struktur aliran dan gelas sebagai penciri utama lava. Selanjutnya data tersebut diplot pada diagram Total Alkaline vs Silica (TAS) oleh Le Bas et al. (1986) dan diagram K_2O vs SiO_2 oleh Peccerillo and Taylor (1976) sehingga dapat diperoleh hasil berupa jenis atau nama batuan dan jenis magma sumber.

Hasil dan Pembahasan

Interpretasi Seismik

Hasil interpretasi penampang seismik (JMC-17) memperlihatkan adanya punggungan Jalur Vulkanik Busur Belakang Muria – Bawean pada batuan dasar (basement) yang terdapat di ujung bagian tenggara lintasan. Hasil interpretasi memperlihatkan bahwa struktur sesar berkembang pada batuan Pra-Paleogen, Paleogen dan Neogen yang diikuti proses vulkanisme di sepanjang jalur sesar tersebut (Gambar 4).

Gambar 4. Penampang seismik (NW – SE) memperlihatkan morfologi batuan dasar (basement) dan intrusi vulkanik melalui bidang sesar pada batuan Paleogen-Neogen



Struktur sesar tersebut dapat diamati pada lintasan seismik di bagian lereng bagian barat laut (NW) dari lintasan L-17. Pada penampang seismik tersebut terdapat tiga puncak vulkanik, dan beberapa bidang pensesaran yang berpeluang untuk menjadi celah baru untuk proses vulkanisme.

Demikian juga proses vulkanisme pada batuan Paleogen – Neogen juga dapat dilihat dari penampang seismik dengan ciri-ciri reflektor tanpa pantulan membentuk geometri panjang dan lonjong secara vertikal dengan puncak yang mendorong bagian atas batuan Paleogen - Neogen yang sehingga terkesan terangkat. Bentuk seperti gambar 5 di atas ditemukan pada semua lintasan yang terdapat antara Muria dan Bawean, tetapi bentuk tersebut menghilang di bagian utara P. Bawean. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan vulkanisme berarah dari P. Bawean ke arah Muria sepanjang jalur tektonik Paleogen – Neogen yang membentuk Jalur Vulkanik Busur Belakang, dan tidak berkembang dengan baik ke arah utara P. Bawean. Kenampakan proses vulkanisme pada penampang seismik tersebut menjadi tidak terbantahkan; bahwa di sepanjang jalur vulkanik tersebut memperlihatkan beberapa proses vulkanisme baru yang mengidentifikasi bahwa sesar-sesar yang berarah SW-NE tersebut berkembang mulai pada batuan Pliosen

hingga ke arah batuan dasar.

Batuan dasar pada penampang seismik memperlihatkan bentuk yang cembung dan dangkal terhadap dasar laut. Makin ke arah tenggara makin cembung dan menipis, menunjukkan pusat vulkanisme. Batuan dan sedimen Tersier lainnya seperti bagian atas dari Formasi Kujung seolah terangkat mengikuti pola batuan dasar. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses vulkanisme tersebut telah berkembang lebih lama sejak pembentukan batuan Paleogen itu sendiri.

Analisis Geokimia

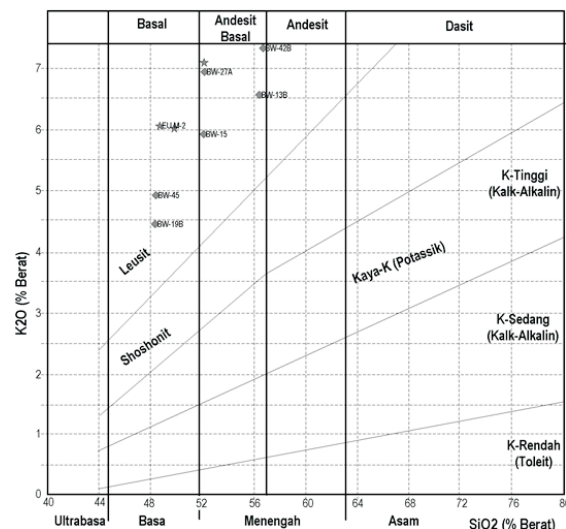
Hasil analisis kimia lava G. Muria diperoleh unsur oksida SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , dan LOI. Hasil analisis lava G. Muria tersebut, selanjutnya diperbandingkan dengan hasil analisis kimia yang telah dilakukan oleh penelitian terdahulu di Muria (Usman dkk., 2007) dan di P. Bawean (Bellon et al., 1989) (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil analisis lava P. Bawean (Bellon et al., 1989) dan lava G. Muria, dan tipe batuan vulkanik.

Oksida	EU.M-1	EU.M-2	EU.M-3	AGT-2	BW-19B	BW-45	BW-15	BW-27A	BW-13B	BW-42B
SiO_2	52,41	49,62	50,3	59,36	49	48,45	48,10	56,30	56,40	56,80
TiO_2	0,562	0,577	0,619	1,12	0,9	0,92	0,88	0,13	0,13	0,13
Al_2O_3	19	19,12	18,91	9,6	16,06	16,24	18,85	22,30	21,60	22,20
Fe_2O_3	5,73	10,2	7,35	15,35	7,25	7,24	6,66	1,98	2,14	1,65
MnO	0,144	0,149	0,15	0,17	0,17	0,17	0,12	0,12	0,18	0,16
CaO	6,66	6,42	6,1	4,73	9,41	9,39	8,30	1,11	0,95	0,78
MgO	1,79	1,66	1,6	1,55	6,09	5,23	3,29	0,09	0,05	0
Na_2O	4,93	3,5	2,226	3,31	4,09	3,98	4,75	8,98	10,68	9,42
K_2O	7,17	6,06	6,07	2,24	4,21	4,50	6,15	7,83	6,53	7,43
P_2O_5	0,604	0,613	0,623	0,50	0,45	0,50	0,03	0,05	0,02	0,02
LOI	0,75	2,67	4,66	2,6	0,95	1,82	1,20	0,89	0,76	0,55
Total	99,75	100,589	98,608	99,86	99,37	99,22	99,58	100,06	100,04	99,23
Tipe	Tephi phonolit	Phono tephit	Phono tephit	Andesitik	Phono tephit	Phono tephit	Tephi phonolit	Tephi phonolit	Phonolit	Phonolit

Hasil analisis ini selanjutnya diplot pada diagram SiO_2 vs K_2O berdasarkan model Peccerillo and Taylor (1976). Berdasarkan diagram tersebut, 3 contoh lava asal G. Muria (EU.M-1, EU.M-2 dan EU.M-3) dan 6 contoh lava asal P. Bawean (BW-19B; BW-45, BW-15, BW-27A, BW-13B dan BW-42B) termasuk dalam seri yang sama, yaitu seri leusit dengan tipe magma basa sampai menengah dengan kandungan SiO_2 antara 48,45 - 56,80% (Gambar 5).

Gambar 5. Diagram SiO_2 vs K_2O lava asal P. Bawean (Bellon et al., 1989) dan G. Muria berdasarkan model Peccerillo and Taylor (1976)



Bellon et al. (1989); Soeria-Atmadja et al. (1994), menyebutkan bahwa kandungan K₂O dan Na₂O yang tinggi dan kecenderungan terjadi penurunan kandungan SiO₂ sejalan dengan kenaikan K₂O dan Na₂O, dengan kecenderungan kandungan K₂O > Na₂O serta kandungan K₂O antara 4 – 8% termasuk dalam seri ultrapotassik. Selanjutnya, Bellon et al. (1989); Soeria-Atmadja et al. (1994), sepakat bahwa berdasarkan komposisi kimia, P. Bawean, G. Muria dan G. Genuk yang terletak pada Lembah Muria (Muria Trough), berada pada kisaran yang sama dengan umur G. Muria dan G. Genuk (1,1 – 0,41 juta tahun). Keduanya terletak makin jauh dari subduksi sekarang (*recent subduction*) menunjukkan genesa dari seri magma leusitik.

Selanjutnya berdasarkan diagram Na₂O + K₂O vs SiO₂ berdasarkan model Le Bas et al. (1986) menunjukkan adanya pengelompokan kimiawi lava asal P. Bawean (Bellon et al., 1989) dan G. Muria diperoleh keduanya berada pada kelompok seri lava basa hingga menengah dengan tipe phonotepit dan tephiphonolit (Gambar 6).

Secara umum persebaran plotting pada diagram tersebut tidak memiliki penyimpangan yang terlalu lebar. Artinya bila analisis lebih banyak dilakukan, maka dapat diperkirakan hasil plotting tetap berada pada kisaran dan seri yang sama.

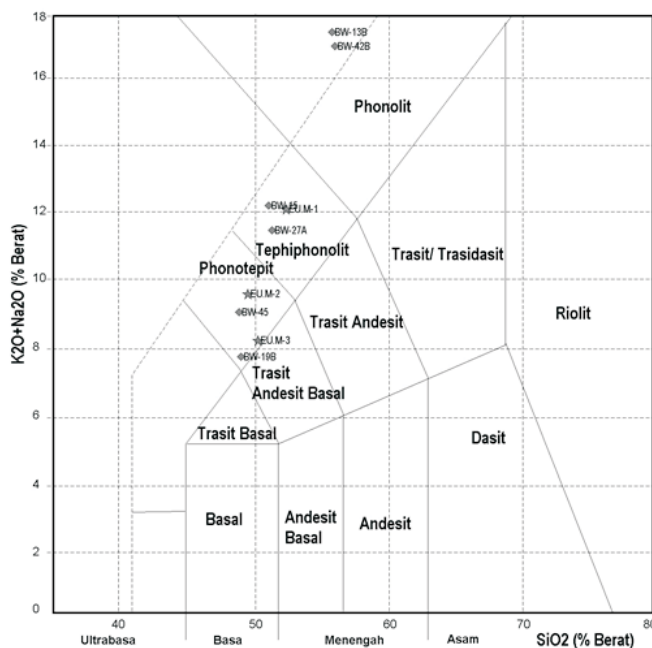
Kandungan pada seri yang sama tersebut berhubungan langsung dengan pola tektonik yang menghubungkan G. Muria dan P. Bawean dengan arah SW-NE (barat daya – timur laut). Tektonik tersebut mengakomodasi sebuah sistem tinggian (Bawean Arch), sehingga batuan dasar membentuk tinggian mengalami proses tektonisasi dengan arah yang sama memungkinkan magma keluar sepanjang jalur sesar di daerah tinggian. Kondisi ini memungkinkan antara G. Muria membentuk suatu jalur lurus yang sama dengan P. Bawean. Kehadiran batuan vulkanik dengan seri yang sama pada diagram di atas tersebut, memiliki hubungan langsung dengan pola tektonik pra-Paleogen, Paleogen dan Neogen yang berperan dalam

proses vulkanik di daerah penelitian. Hasil ini juga menunjukkan bahwa di daerah penelitian, evolusi tektonik dan vulkanik berjalan secara bersama-sama pada lokasi yang sama dan tidak berevolusi serah jarum jam ataupun berkembang ke tempat lain sebagaimana yang di duga selama ini. Baik tektonik pra-Paleogen yang terjadi pada batuan dasar (granitik), maupun tektonik Paleogen pada batuan Tersier hingga tektonik Neogen atau sedimen Kuartar, saling berhubungan dan mempengaruhi. Kondisi ini dapat mempertegas bahwa sistem tektonik Pola Meratus yang berarah SW-NE (barat daya – timur laut) yang diyakini sekarang berevolusi ke arah selatan dengan gerakan memutar serah jarum membentuk pola Jawa (S – W) sebagaimana ditunjukkan oleh vulkanik di Jawa (*Volcanic Island*) tidak berhubungan dengan sistem yang ditunjukkan di daerah penelitian. Hal ini selain ditunjukkan oleh sistem vulkanik yang berbeda dalam arah dan lokasi, baik dalam seri kimiawi maupun tektonik yang mengakomodasinya, juga berbeda dalam hal jenis batuan dasar dan evolusi tektoniknya.

Perbedaan paling nyata adalah dalam hal posisinya terhadap sistem tektonik regional di P. Jawa. Sistem Muria – Bawean, jelas-jelas berada pada pusat cekungan busur belakang, sedangkan sistem vulkanik Jawa (S – W) berada pada busur utama Jawa. Oleh sebab itu maka sistem Muria – Bawean memiliki sistem sendiri yang disebut sistem tektonik dan vulkanik Muria Bawean (Muria – *Bawean Back Arch Volcanism* dan Muria Bawean Back Arch Tectonic).

Menurut Bellon et al. (1989), berdasarkan analisis kimia pada lava vulkanik di P. Bawean, G. Muria, G. Genuk, G. Lasem dan Patiayam termasuk dalam jalur vulkanik busur belakang (*back arc volcanism*) dengan umur antara 1,6 – 0,3 juta tahun. Di Karimunjawa berumur lebih tua mulai Miosen Akhir sampai Pliosen, dan didominasi oleh basal alkali. Berdasarkan posisinya pada jalur subduksi, Karimunjawa termasuk dalam daerah Vulkanik Busur Transisi (*Back Arc Transitional*).

Kelompok G. Lasem-Patiayam memiliki kecenderungan kenaikan SiO₂ dan K₂O < Na₂O, sehingga termasuk dalam kelompok potassik calc-alkaline atau dalam seri shoshonitik. Kelompok Muria (termasuk G. Genuk) dan P. Bawean yang terletak pada Lembah Muria (Muria Trough), dicirikan oleh K₂O > Na₂O dan penurunan SiO₂ dan termasuk dalam seri leusitik atau ultrapotassik (K₂O antara 4 – 8%). Keduanya terletak makin jauh dari subduksi sekarang (*recent subduction*). Salah satu puncak tertinggi di P. Bawean adalah G. Besar yang memiliki diameter 1,5 km, secara geologi berhubungan dengan lava basanitik dan tephritik bersifat basa dan menengah. Produk vulkanisme lainnya di P. Bawean ditunjukkan oleh adanya singkapan breksi piroklastik di sekitar Danau Kestoba dan sumber air panas (Aziz dkk., 1993).



Gambar 6. Klasifikasi Na₂O + K₂O vs SiO₂ yang menggambarkan pengelompokan kimiawi lava asal P. Bawean (Bellon et al., 1989) dan G. Muria berdasarkan model Le Bas et al. (1986).

Kondisi ini mempertegas kehadiran vulkanik di daerah busur belakang; secara geologi merupakan peristiwa langka. Kondisi ini hanya dapat berkembang di daerah yang mengalami evolusi struktural secara berkelanjutan dan berhubungan mulai batuan dasar (Pra-Paleogen), batuan Tersier (Paleogen) dan Kuartar (Neogen).

Simpulan

Hasil analisis dan interpretasi seismik menunjukkan bahwa proses pensesaran di daerah penelitian telah berlangsung dan berkembang pada batuan dasar (Pra-Paleogen), Paleogen dan Neogen dengan arah barat daya – timur laut (SW – NE) searah dengan Pola Kelurusan Meratus. Produk dari proses pensesaran tersebut adalah batuan vulkanik G. Muria dan P. Bawean. Hasil analisis pada batuan G. Muria dan Bawean menunjukkan kesamaan dalam jenis dan seri batuan, yaitu batuan vulkanik bersifat basa – menengah dan termasuk dalam seri magma leusitik atau ultrapotassik yang ditunjukkan oleh kecenderungan kandungan K₂O dan Na₂O yang tinggi dan penurunan kandungan SiO₂, dengan kecenderungan kandungan K₂O > Na₂O serta kandungan K₂O antara 4 – 8% sebagai penciri batuan seri ultrapotassik.

Berdasarkan kesamaan tektonik dan vulkanik tersebut, maka antara G. Muria dan P. Bawean membentuk suatu jalur lurus yang disebut sebagai jalur Vulkanik Busur Belakang Muria – Bawean. Jalur ini membentuk tinggian yang disebut Busur Bawean (Bawean Arch) membelah dua Cekungan Utara Jawa Timur, dan bagian barat membentuk Cekungan Pati. Hasil ini memberi petunjuk bahwa tektonik dan vulkanik Neogen ikut berperan dalam mempengaruhi konfigurasi suatu cekungan di laut.

Daftar Pustaka

- Anonim, 2006. Indonesia Basin Summaries (IBS), *The Gateway To Petroleum Investment in Indonesia*. Patra Nusa Data (PND), Jakarta: 466 pp.
- Aziz, S., Hardjoprawiro, S. dan Magga, S.A., 1993. *Peta Geologi Lembar Bawean dan Masalemba*, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Bellon, H., Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Suparka, E. dan Yuwono, Y.S., 1989. *Chronology and Petrology of Back Arc Volcanism in Java*. In: Koesoemadinata, R.P. and Noeradi, D. (ed.), 2003. *Indonesian Island Arcs: Magmatism, Mineralization and Tectonic Setting*. Penerbit ITB, Bandung: hal.174-186.
- Darman, H. and Sidi, F.H., 2000. *An outline of The Geology of Indonesia*. Indonesian Association of Geologist, Jakarta: 192 pp.
- Hamilton, W., 1974. *Earthquake Map of The Indonesian Region*. Departement of Mines Government of Indonesia and United State Geological Survey.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonic of the Indonesian Region*. United State Geological Surveys, Prof. Paper, Washington: 345 pp.
- Hall, R., 1996. *The Plate Tectonics of Cenozoic SE Asia and the Distribution of Land and Sea*. In Hall, R. and Blundell, D.J. (ed), 1996. *Tectonic Evolution of Southeast Asia*. Geological Society Press, Special Publication No.106.
- Hartono, G. dan Syafri, I., 2007. *Peranan Merapi untuk Mengidentifikasi Fosil Gunung Api pada Formasi Andesit Tua: Studi Kasus di Daerah Wonogiri*. Publikasi Khusus: Geologi Indonesia Dinamika dan Produknya, 2(33). Pusat Survei Geologi, Bandung: hal.63-80.
- Hutubessy, S., 2003. *Struktur Sesar Bawah Permukaan dan Implikasinya Terhadap Pemunculan Kelompok Gunungapi di Semenanjung Muria*, Jawa Tengah Berdasarkan Pendekatan Analisis Gaya Berat. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, XII(133). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung: hal.37-54.
- Katili, J.A., 1980. *Geotectonics of Indonesia, A Modern View*. Directorate General of Mines, Jakarta: 271 pp.
- Katili, J.A., 1989. *Evolution of The Southeast Asian Arc Complex*. Journal Geologi Indonesia, 12(1), Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Jakarta: p.113-143.
- Le Bas, M.G., Le Meitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986. *Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on Total Alkaline Silica Diagram*, Journal of Petrol 27(3): 745-750.
- Letierrier, J., Yuwono, Y.S., Soeria-Atmaja, R. dan Maury, R.C., 1990. *Potassic Volcanism in Central Java and South Sulawesi – Indonesia*. In: Koesoemadinata, R.P. and Noeradi, D. (ed.), 2003. *Indonesian Island Arcs: Magmatism, Mineralization and Tectonic Setting*. Penerbit ITB, Bandung: p.194 - 215.
- Lubis, S. and Rachmat, B., 1996. *Report on Offshore Fault Assessments in Muria Waters Area and its Vicinity*. National Agency for Nuclear Power (Intern Report), Jakarta: 16 pp.
- Martodjojo, S., 2003. *Stratigrafi Pulau Jawa: "State of The Art"*. Publikasi Khusus No.30. IAGI Jabar – Banten dan Puslitbang Geologi & IAGI Pusat, Bandung: hal.9-19.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976. *Geochemistry of Eocene Calc-alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area*, Northern Turkey, Contrib. Mineral Petrol 58: 63-81.
- Pulunggono, A. dan Martodjojo, S., 1994. *Perubahan Tektonik Paleogen – Neogen Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa*. Prosiding Seminar Jurusan Teknik Geologi. Fakultas Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta: hal.253–274.
- Reminton, C.H., Aulia, K., Djaafar, R., Hatuwe, H., Lubis, E., Sosromihardjo, S., Yaman, F.A. dan Nuay, E., 1996. *Petroleum Geology of Indonesian Basins, Principles, Methods and Application*, Vol. IV East Java Basin. Pertamina, Jakarta: 105 pp.
- Satyana, A.H., 2007. *Cekungan Sedimen Indonesia 1949 – 2006: Perkembangan Konsep dan Status Terkini*. Jurnal Mineral dan Energi, 5(1). Balitbang Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta: hal.4-8.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M. and Priadi, B., 1994. *The Tertiary Magmatic Belts in Java*, Journal of SE Asian Earth Sciences, Great Britain, 9(1): p.13-27.
- Sidarto, Suryono, N. dan Sanyoto, P., 1999. *Sistem sesar Pengontrol Pemunculan Kelompok Gunungapi Muria Hasil Penafsiran Citra Landsat*. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, IX(99). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung: hal.2-15.
- Simandjuntak, T.O., 1994. *Tsunami dan Gempabumi Dalam Pinggiran Lempeng Aktif Indonesia*. Seminar Sehari Masalah Tsunami di Indonesia dan Aspek-aspeknya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung: hal.42-77.
- Simandjuntak, T.O. and Barber, A.J., 1996. *Contrasting Tectonic Styles in the Neogene Orogenic Belt of Indonesia*. In Hall, R. and Blundell, D.J. (eds), *Tectonic Evolution of Southeast Asia. The Geological Society Special Publication 106*, London: 185-201.
- Sujanto, F.X., Hartoyo, P., Kartanegara, L., Sugiarto, H. dan Kartika, B., 1993. *Peta Indonesia, Cadangan dan Sumberdaya Gas*. Pertamina, Jakarta.
- Suprijadi, 1992. *Peranan Wrench Fault Pada Akumulasi Hidrokarbon di Pulau Madura*. Proc. Of The 21th Annual Scientific Meeting of The Indonesian Association of Geologist, Jakarta.
- Usman, E., Setyanto, A., Koesnadi, Wahib, A., Karmini, M., Lugra, I.W., Kurnio, H., Astjario, P., Kusnida, D., Yuningsih, A., Naibaho, T., Masagus, A., Subarsyah, Muslim, D., 2007. *Laporan Studi Cekungan dan Potensi Geologi Hazard Kaitannya dengan Tapak PLTN Muria di Perairan Jepara Jawa Tengah*. Laporan Intern Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung: 123 hal.
- Usman, E., 2008. *Arti Strategis Laut Jawa Dalam Mendukung Industri Migas Nasional: Rekonstruksi dan Prospektif Cekungan Migas*. Jurnal Mineral dan Energi, 6(1). Balitbang Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta: hal.22 - 29.
- Usman, E. dan Lugra, I.W., 2008. *Tinjauan Geologi Perairan Semenanjung Muria dan Pengaruhnya Terhadap Rencana Tapak*

- Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)*. Jurnal Geologi Kelautan, 6(1). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung: hal.1-11.
- Usman, E. dan Yuningsih, A., 2009. *Perkembangan dan Potensi Minyak dan Gas Bumi di Cekungan Pati, Jawa Tengah Berdasarkan Analisis Regional dan Data Magnet: Eksplorasi Geomarin 1 (Tinjauan Geologi Kelautan)*. Prosiding PIT IAGI ke-38, Semarang 13-14 Oktober 2009: 17 hal.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia, Vol. IA General Geology*. The Hague, Martinus Nijhof, Netherland Govt. Printing Office: 997 pp.